心理学报 2022, Vol. 54, No. 5, 466−480
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.00466

生理周期对情景记忆的影响*

李建花 [1,3] 解佳佳 [2,3] 庄锦英 [3]

([1] 澳门大学心理学系；澳门大学认知与脑科学研究中心，澳门 999078)
([2] 青岛科技大学马克思主义学院，山东 青岛 266061)
([3] 华东师范大学心理与认知科学学院上海市心理健康与危机干预重点实验室，上海 200062)

摘 要 来自进化心理学的理论及研究结果提示，女性性激素可能是情景记忆的重要影响因素，但是，具体机制尚不清晰。本研究以女性生理周期性激素水平的自然变化构成的两个时期(卵泡后期、黄体中期)为自变量，利用“What-Where-When Task”情景记忆任务(实验1)，结合事件相关电位(event-related potential, ERP)技术(实验2)，探讨生理周期不同阶段完成情景记忆任务的成绩及其可能的内在机制。实验1招募生理周期稳定的33名女性为被试，在卵泡后期和黄体中期各参加一次实验，随机顺序依次完成O任务(仅记忆物品，object)、P任务(仅记忆物品位置，position)、OO任务(记忆物品及其呈现顺序，object + order)、OP任务(记忆物品及其呈现位置，object + position)以及PO任务(记忆物品呈现位置及顺序，position + order)。结果发现，在完成PO任务时，黄体中期的回忆正确率显著高于卵泡后期。实验2借用事件相关电位技术，进一步探究生理周期影响情景记忆PO任务的原因，结果发现，黄体中期额叶脑区的P300以及LPC波的振幅显著大于卵泡后期，且完成PO任务时的感受性与右侧额叶P300振幅显著正相关。基于上述ERP的结果，可以认为，黄体中期在PO任务上的好成绩可能得益于显著增强的认知控制能力，这一解释符合前人研究结论。总之，本研究发现：生理周期对情景记忆中客体的空间位置与时间顺序整合的记忆产生显著影响，黄体中期的记忆效果显著好于卵泡后期，可能是因为该时期显著增强的认知控制能力。本研究有望为理解影响情景记忆的因素提供新的视角。

关键词 情景记忆，生理周期，认知控制，P300，LPC，事件相关电位
分类号 B845；B842

1 引言

19世纪70年代，Tulving将长时记忆划分为情景记忆(Episodic Memory)和语义记忆(Semantic Memory)，并将情景记忆定义为存储何时(when)、在哪里(where)、发生了什么(what)的记忆系统，是个体有意识地记住自己经历的事件所发生的时间和地点的能力(Tulving, 2002)。例如，考试的时候我们可能通过回忆“那个下雨天我坐在教室的某个座位学的这个知识”，帮助我们顺利答题。因此，与事件相关的时间、地点等信息可以易化我们对自己经历过的事件的提取。由此，情景记忆有两个组成部分：对客体信息的记忆和对客体所处上下文环境信息的记忆。其中，客体信息是观察者直接关注的信息，如这个客体是什么，上下文环境信息则是表明客体呈现的条件，包括空间信息和时间顺序信息(Chalfonte & Johnson, 1996)。情景记忆是个体认知能力的重要组成部分，不仅涉及对客体信息及客体所发生的地点、时间顺序的记忆，也包含对这些信息的整合(Dere et al., 2006)。

近年，来自进化心理学取向及认知神经科学的研究提示，人类女性生理周期可能会对情景记忆产生影响。具体而言，人类女性性激素的变化，不仅存在着生命周期，即由童年的低水平、青年的高峰水平到老年的低水平的变化；还存在着以月为单位的周期性变化，即生理周期(Menstrual Cycle)，主

收稿日期：2021-03-14
* 国家自然科学基金面上项目(71971084)资助。
通信作者：庄锦英，E-mail: jyzhuang@psy.ecnu.edu.cn

要是雌二醇(Estrogen)和孕酮(Progesterone)水平的周期性波动(孙晓丽 等, 2013)。女性个体的生理周期长度一般在25~35天之间, 平均为28天, 大体可以分为月经期(第1~6天)、卵泡期(第7~14天)和黄体期(第15~28天)三个时期(Wilcox et al., 2000)。其中, 月经期雌二醇、孕酮都处在最低水平; 之后进入卵泡期, 雌二醇水平逐渐提升, 在排卵前一天达到峰值; 接下来进入黄体期, 孕酮水平逐步提升, 并在黄体中期达到峰值(Ball et al., 2013)。

进化理论认为, 从适应功能上, 女性生理周期与繁殖、求偶等行为或动机密切相关, 伴随生理周期不同阶段所承载的功能, 女性的心理与行为也会表现出适应性的改变。例如, 黄体期女性处于类孕育状态, 心理上, 需要面对身体内在环境和外在社会环境发生的变化并承担作为母亲的职责; 行为上, 需要保护胎儿免遭伤害, 减少冒险行为(Crawley et al., 2008)。实证研究发现, 黄体期女性随孕酮水平的提升, 对社会支持、威胁等线索更敏感, 促进自我保护(Barrett & Kurzban, 2006)。具体而言, 与卵泡期相比较, 黄体期女性对恐惧、愤怒、厌恶、悲伤面孔的识别准确性更高(Maner & Miller, 2014); 对负性场景无意识自动回忆频率更高, 且与唾液孕酮水平呈正相关(Ferree et al., 2011)。Ertman等人让两组女性分别在排卵期、黄体期观看中性和负性效价图片, 一周后自由回忆, 结果显示黄体期对情绪性图片的编码更好, 唾液孕酮水平与对情绪性图片的回忆量呈正相关(Ertman et al., 2011)。黄体期女性也更加关注社会刺激(Ackerman et al., 2009; Anderson et al., 2010; Reynolds et al., 2018), 表现出更多的亲社会行为(Stenstrom et al., 2018)。有研究者让女性被试在连续35天内(覆盖整个生理周期)每天填一份问卷, 请她们想象自己购物时, 会花多少钱在亲人身上, 结果发现, 与卵泡期相比, 黄体期女性给亲人花更多钱; 之后探究生理周期对匿名他人捐赠行为的影响, 同样发现黄体期有更多亲社会行为(Stenstrom et al., 2018)。另一方面, 卵泡后期女性的主要目标是寻求优质的潜在配偶。有研究发现女性在卵泡后期对男性面孔的识别会更快、记忆效果更好、注视时间更长, 特别是对男性化男性面孔(Allan et al., 2012)。女性在卵泡后期更注重修饰打扮(庄锦英, 王佳玺, 2015), 在异性面前走路的步态更加性感(Guéguen, 2012; Miller et al., 2007), 等等, 目的均指向获得优质配偶。

有研究者认为, 黄体期女性会调动认知控制能力编码社会刺激, 提高个体对社会信息的检测能力及对有害或有利线索的敏感性, 进而趋利避害(Maner & Miller, 2014)。来自认知神经科学的研究, 为黄体期女性认知控制能力提升的假说提供了证据。例如, 来自静息态脑功能成像的研究发现, 相较于卵泡后期, 黄体中期女性背外侧前额叶脑区的激活水平显著增强(Zhuang et al., 2020); 在跨期决策任务中, 黄体中期女性的折扣率显著降低(安小芬, 2018), 同时, 卵泡后期背外侧前额叶脑区与纹状体(奖赏脑区)的功能性联接强度与折扣率显著负相关(Zhuang et al., 2020)。大量证据表明, 背外侧前额叶脑区在认知控制中扮演重要角色。背外侧前额叶与背侧纹状体脑区之间信号交流的质量可以调控对冲动性的认知控制(Cieslik et al., 2013; Sheline et al., 2010)。右侧尾状核头部以及壳核与背外侧前额叶之间构成的神经通路被公认为是一个认知环路 (Rotge et al., 2008)。一般而言, 诸如强迫症(van Den Heuvel et al., 2005)、帕金森症(Williams-Gray et al., 2007)以及亨廷顿症(Watkins et al., 2000)患者, 其前额叶与纹状体之间的功能性联结通常会出现改变, 随之而来的是认知执行功能的缺陷。对网络游戏成瘾者静息态脑功能连接的研究发现, 其右侧尾状核与背外侧前额叶之间功能连接强度的降低与认知控制缺陷存在相关关系 (Yuan et al., 2016)。对女性吸烟者在不同生理周期静息态脑功能成像的研究发现, 相较于黄体期女性, 卵泡期女性认知控制脑区与奖赏相关脑区之间的功能连接减弱, 女性对吸烟行为的认知控制也随之减弱(Wetherill et al., 2016)。

目前, 关于生理周期的研究主要集中在与进化理论密切相关的诸如求偶、社会互动等领域, 对影响情景记忆等一般认知能力的研究较少, 尚不清楚随生理周期而改变的性激素水平通过影响哪些认知功能以及通过怎样的方式影响了情景记忆的表现。如前所述, 如果黄体期较强的认知控制能力是独立于任务的(如静息态的研究发现), 那么, 这种较强的认知控制能力也应该会对情景记忆产生影响; 其次, 如前所述, 成功的情景记忆, 不仅涉及对客体信息及客体上下文信息的记忆, 也包含对这些信息的整合; 而对信息的整合, 需要较强的认知控制的参与(DuBrow & Davachi, 2016; Jenkins & Ranganath, 2010)。基于上述考虑, 本研究选取生理周期的卵泡后期(雌二醇水平基本处于峰值, 孕酮水平较低)和黄体中期(雌二醇、孕酮均处于较高水

平)，探讨生理周期对情景记忆的影响。并提出如下假设：(1)与卵泡后期相比较，黄体中期女性在情景记忆任务中对各要素的整合能力显著增强；(2)黄体中期在情景记忆任务中显著增强的整合能力，得益于与认知控制能力相关脑区，即前额叶脑区的积极参与。为验证上述假设，开展两个实验研究。实验 1 为探索性研究，借助 What-Where-When 任务范式，探究生理周期对情景记忆各成分及其整合的影响。实验 2 借助事件相关电位技术，验证假设 2。

2　实验 1：生理周期影响情景记忆初探

招募生理周期稳定的女性在卵泡后期、黄体中期各参加一次实验，使用 What-Where-When 任务范式，探究生理周期对情景记忆各成分及其整合的影响。

2.1　实验方法

2.1.1　被试

根据 GPower 软件(Faul et al., 2007)对实验计划样本量进行估算。根据前人相关研究，探究生理周期对认知功能的影响时，其效应量通常大于或等于中等效应量。例如，Ikarashi 等人(2020)探究生理周期对陈述性记忆的影响，其生理周期的效应量为 0.510。Yamazaki 和 Tamura (2017)要求被试完成情绪表情识别任务，计算得到生理周期的效应量为 0.604。由此，本研究设置参数为中等效应量 0.50，在统计检验力 $1 - \beta = 0.80$, $\alpha = 0.05$ 的条件下，计算配对样本 t 检验合适的样本量为 34 人。通过校园被试招募平台，筛选右利手、视力或矫正视力正常的女性被试 36 名，年龄 18~25 岁($M \pm SD$: 20.79 ± 2.12)，生理周期稳定在 28~30 天，且未使用任何激素类药物及药械。最后，由于 3 名被试的生理周期在实验后未保持稳定，被删除。

首先，用倒数法(Blake et al., 2016; Fales et al., 2014)确定女性被试参加实验的两个时期：卵泡后期(Late Follicular Phase, late FP；从下次经期第一天倒数 15~17 天)、黄体中期(Middle Luteal Phase, mid-LP；从下次经期第一天倒数 6~8 天)；然后，分别请被试在两个时期完成相同的情景记忆任务。对完成任务的顺序进行了被试间的平衡：17 名女性被试先在卵泡后期参加实验，后在黄体中期参加实验；另外 16 名女性先在黄体中期参加实验，后在卵泡后期参加实验。所有被试均签署了知情同意书，完成实验后获取一定的报酬。

2.1.2　实验设计

实验采用 What-Where-When Task 实验范式(Kessels et al., 1999)，共有五种实验任务，分别为：仅记忆物品(object, O 任务)、仅记忆物品位置(position, P 任务)、记忆物品及其呈现顺序(object + order, OO 任务)、记忆物品及其呈现位置(object + position, OP 任务)、记忆物品呈现位置及顺序(position + order, PO 任务)。以卵泡后期和黄体中期两时期为自变量，以测验阶段的回忆正确量为因变量。

2.1.3　实验材料

通过前测确定用于情景记忆任务的图片(见图 1)，均是日常生活中常见物品的彩色白底图片，主要为动物、植物、文具、衣物、日用品等。请另外的 38 名被试(14 名男性，年龄 18~22 岁：$M \pm SD$: 20.7 ± 1.6；24 名女性，年龄 18~26 岁：$M \pm SD$: 20.3 ± 2.7)对这些物品进行熟悉度评分(使用李克特量表，1~9 评分，1 代表非常不熟悉，9 代表非常熟悉)。之后，选择熟悉度评分的均值大于 7 的图片 58 张作为实验材料，随机选取其中的 35 张作为记忆材料，剩余的 23 张作为干扰材料。将作为记忆材料的 35 张图片随机分为 5 组，每组 7 张，随机分配为一种实验任务的学习材料，干扰材料(23 张)用于测验阶段的干扰项。使用 E-prime 2.0 编写实验程序，运行程序的电脑为联想 14 寸笔记本，屏幕分辨率为 1366 × 768 pixel，垂直刷新频率为 60 Hz，刺激呈现在屏幕中央 5 × 5 的方格中。实验过程中，参与者距电脑屏幕 40~50 cm，每个物品的水平及垂直视角均约为 2.65°。



图 1　实验材料示例

2.1.4　实验流程

被试首先填写个人基本信息问卷及知情同意书，之后在电脑上随机顺序完成 5 种实验任务。每种任务均包含两个阶段：学习阶段与测验阶段。学习阶段开始前会通过指导语告知被试该任务测验阶段的要求，之后 7 张物品图片依次呈现在 5 × 5

方格的任意位置，每个呈现 3 s (见图 2A)。呈现完毕后，按空格键即进入测验阶段。测验阶段没有时间限制，被试根据记忆输入物品或位置编号(编号仅测验阶段呈现，方便被试做选择)，以记忆物品及位置为例(见图 2B)。输入完毕后进入下一种实验任务的学习及测验阶段。以此类推，完成全部 5 种实验任务。生理周期两次实验内容及过程相同。

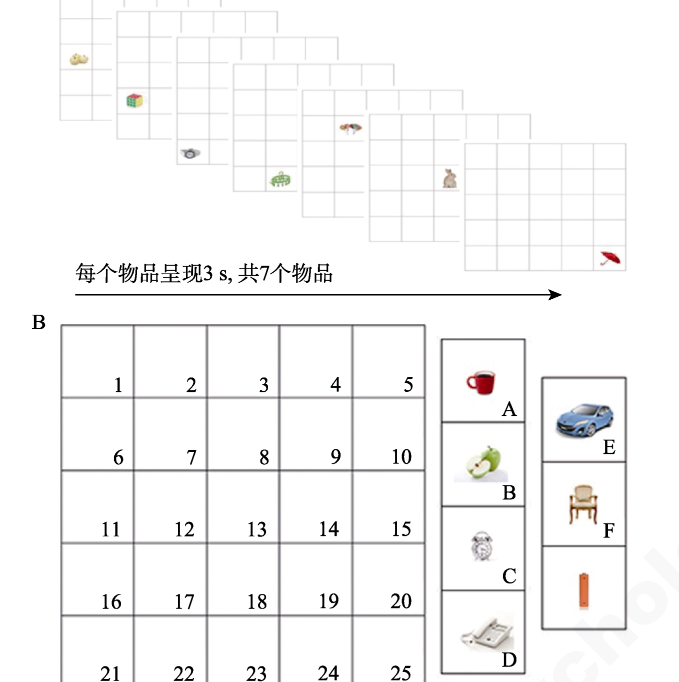


图 2　实验 1 学习阶段(A)和测验阶段(B, 以记忆物品及位置为例)示意图

5 种实验任务的学习及测验阶段的具体要求分别如下：(1) O 任务(仅记忆物品, What)。学习阶段：告知被试仅需记忆呈现的物品，无需记忆物品呈现的顺序及位置；测验阶段：屏幕上按 5 行 6 列同时呈现 30 个物品图片，其中 7 个为学习阶段看到过的，其余 23 个物品图片来自干扰材料，要求被试不考虑呈现顺序，选出学习阶段呈现的 7 个物品即可。(2) P 任务(仅记忆位置, Where)。学习阶段：告知被试仅需要记忆哪些位置呈现过物品，无需记忆呈现了哪些物品及其呈现顺序；测验阶段：屏幕上仅呈现与学习阶段同样大小的 5 × 5 空白方格，没有物品呈现，要求被试确定刚刚呈现过物品的位置，顺序随机。(3) OO 任务(记忆物品及其呈现顺序, What and When)。学习阶段：告知被试需要记忆呈现的物品及物品呈现的顺序，无需记忆物品呈现的位置；测验阶段：屏幕上 5 行 6 列同时呈现 30 个物品图片，其中 7 个为学习阶段看到过的，其余 23 个物品来自干扰材料，要求被试既要考虑刚刚呈现的物品，也要考虑它们的呈现顺序，请被试按学习阶段物品呈现的顺序，依次键入 7 个物品的编号。(4) OP 任务(记忆物品及其呈现位置, What and Where)。学习阶段：告知被试需要记忆呈现了哪些物品及其对应的呈现位置，无需记忆呈现的先后顺序；测验阶段：如图 2B 所示，左边呈现 5 × 5 空白方格及其编号，右边呈现目标物品及其编号，要求被试将学习阶段所呈现的物品及其呈现位置配对，键入其配对编号，顺序随机。(5) PO 任务(记忆物品呈现的位置及位置呈现的顺序, Where and When)。学习阶段：告知被试需要记忆哪些位置呈现过物品及其呈现的先后顺序，无需记忆具体呈现的物品是什么；测验阶段：屏幕上呈现与学习阶段同样大小的 5 × 5 空白方格，要求被试按学习阶段的呈现顺序键入呈现过物品的位置编号。

2.2　结果分析

以每种实验条件下的正确回忆率作为因变量，对前后两次测试的顺序效应进行配对样本 t 检验，结果显示，均无显著差异(见表 1)，即不存在顺序效应。

以每种实验任务下的正确回忆率作为因变量(见表 2 的描述性统计)，以生理周期的两个阶段作为自变量，分别进行配对样本 t 检验，结果发现(见图 3)：在任务 O、P、OO、OP 条件下，生理周期两时期正确回忆率均没有显著差异，对应的 t 值及

表 1　前后两次回忆正确率以及配对样本 t 检验

任务类型	第一次实验 ($M \pm SE$)	第二次实验 ($M \pm SE$)	t	自由度	p (双尾)	95%置信区间	效应量
O 任务	0.95 ± 0.01	0.93 ± 0.02	0.83	32	0.379	−0.02, 0.06	0.152
P 任务	0.70 ± 0.03	0.74 ± 0.05	−0.69	32	0.497	−0.16, 0.08	0.120
OO 任务	0.86 ± 0.03	0.94 ± 0.03	−1.95	32	0.061	−0.17, −0.004	0.337
OP 任务	0.44 ± 0.04	0.45 ± 0.04	−0.18	32	0.861	−0.10, 0.08	0.032
PO 任务	0.55 ± 0.06	0.64 ± 0.61	−1.25	32	0.220	−0.24, 0.06	0.218

p 值分别为：$t(32) = -1.36, p = 0.184$, 95%置信区间为[−0.07, 0.01]，效应量 $d_z = 0.236$；$t(32) = -0.38$, $p = 0.707$，95%置信区间为[−0.14, 0.10]，效应量 $d_z = 0.067$；$t(32) = -1.08, p = 0.286$, 95%置信区间为[−0.14, 0.04]，效应量 $d_z = 0.190$；$t(32) = -1.68$, $p = 0.102$，95%置信区间为[−0.16, 0.02]，效应量 $d_z = 0.293$。但在完成 PO 任务时，黄体中期的记忆效果显著好于卵泡后期，$t(32) = -4.31, p < 0.001$, 95%置信区间为[−0.38, 0.14]，效应量 $d_z = 0.750$。

表 2 生理周期两时期被试在各任务的平均回忆正确率 (*M* ± *SE*)

任务类型	生理周期	
	卵泡后期	黄体中期
O 任务	0.93 ± 0.02	0.95 ± 0.02
P 任务	0.71 ± 0.03	0.73 ± 0.05
OO 任务	0.88 ± 0.03	0.93 ± 0.02
OP 任务	0.41 ± 0.05	0.48 ± 0.04
PO 任务	0.46 ± 0.06	0.72 ± 0.06

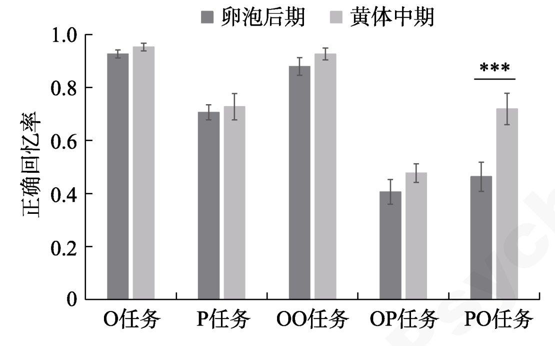


图 3 生理周期两时期各记忆条件下的正确回忆量

2.3 讨论

由结果可知，前后两次测验成绩不存在显著差异，即不存在顺序效应或练习效应。在各实验条件下，配对样本 *t* 检验显示，仅在完成 PO 任务(记忆位置及位置顺序)时，黄体中期的记忆效果显著好于卵泡后期；而在完成其他任务时，两时期不存在显著差异。

考察上述 5 类记忆任务的特点，完成 PO 任务需要对物品呈现的时间、地点两类环境信息进行整合，而在完成其他四类任务时，要么只需记住一类环境信息，要么只需记住物品与另一类环境信息的结合，均比记住 PO 任务中两类环境信息的组合更具体；或者说，PO 任务包含了更多抽象信息的组合。前人研究发现，老年人随记忆能力的衰退，在情景记忆任务中对客体信息的记忆能力完好，但将多种信息整合起来的能力明显下降，特别是对时间和空间信息的整合(PO 任务)能力下降显著(Chalfonte & Johnson, 1996)。可见，PO 任务的特点与前述 4 类任务有所不同，完成 PO 任务，需要更多的认知控制资源(DuBrow & Davachi, 2016)。认知控制能力是指在机体受到干扰或冲突的情况时，能够通过其自身促进任务相关信息加工过程以及促进与任务相关的行为来加以灵活运用当前需求的能力，个体需要将注意力集中在任务目标相关的信息上，还要抑制或忽略与任务无关的信息，是完成认知活动所必需的高级认知功能，对注意、工作记忆、语言加工、决策等认知过程有很大的影响(Botvinick et al., 1999)。为进一步验证女性黄体中期 PO 任务成绩显著增强的认知控制假设，本研究尝试通过实验 2 收集被试在完成 PO 任务时的事件相关电位(event-related potential, ERP)数据，为认知控制假说提供证据。

事件相关电位主要由刺激的特点或个体内部认知活动引起，因而包括外源性成分和内源性成分，外源性成分的出现主要取决于刺激的特点，外部信息的物理特性会引起注意转移、注意定向等活动，从而表现出电位上的差异，包括 P1, N1, N2, P2 波，其中 N1 及 P1 成分与选择性注意有关，其波幅与注意程度正相关，注意分配越多，波幅越大，该成分可以表示注意在特定对象身上的集中(Jha, 2002; 罗跃嘉, Parasuraman, 2001)。N2、P2 成分波幅增加一般表明刺激材料复杂性程度较高，可以反映相关皮层对信息的接收、处理和传递能力(Folstein & van Petten, 2008; Näätänen & Picton, 1986)；内源性成分是由个体心理活动引起的，个体根据行为目标和意图分配认知资源，与认知过程紧密相关，其代表性成分通常为出现在 300 ms 左右的 P300 (Polich, 2007)，该成分是评定感觉、记忆、选择性注意、思维等高级认知活动的指标(Howe et al., 2014)，是大脑联合皮层活动引起的与复杂心理认知活动有关的心理过程(Twomey et al., 2015)，该成分的波幅与任务难度以及为完成任务所需分配的心理资源正相关(Kumar et al., 2009; Moser et al., 2009)。新近研究发现，P300 在脑区上的空间分布可能代表了不同的认知成分：顶叶的 P300 更多反应了认知加工过程中注意资源的自动投入，而前额叶的 P300 更多反应了认知加工过程中的认知控制功能(Daffner et al., 2011; Fabiani & Friedman, 1995; Fjell & Walhovd, 2001; Kida et al., 2012; Kok, 2001; Yamaguchi & Knight, 1991)。

根据记忆提取的双过程模型(dual-process models)，对情景记忆的成功提取主要依赖两个不同的过程：熟悉度(Familiarity)和主动回忆(Recollection)。熟悉度是指对遇到过的人或物的自动检索，不需要回忆特定的时空信息(Kutas & Federmeier, 2011)；而主动回忆需要认知控制提供精确的情景信息。利用事件相关电位开展的研究发现，利用熟悉度对情景记忆项目的提取，更多是一种自动化的过程，与早期额叶中部负性电位 N400 有关(Kutas & Federmeier, 2011)；主动回忆与晚期正成分(Late Positive Component, LPC)有关(Ecker et al., 2007; Woodruff et al., 2006)。晚期正成分 LPC 是出现在 500~800 ms 的正波，与回忆准确性有关且主要出现在中央顶叶或左侧顶叶(Curran & Cleary, 2003; Liu & Guo, 2020)，最近研究显示进行记忆检索时，该波会广泛出现在各脑区(Nardini & Leynes, 2020)，且与自我相关的情景回忆相关(Brezis et al., 2017; Coronel & Federmeier, 2016; Leynes & Mok, 2017)。病理研究发现，海马病变会极大降低LPC，也体现了LPC波与记忆的高相关性(Addante et al., 2012; Hoppstädter et al., 2015)。进一步地，当要求被试回忆更多细节或同时检索目标相关的情境信息时，由于需要更强的认知控制，会有更大的 LPC 信号(Küper & Zimmer, 2018; Leynes & Crawford, 2018; Wilding, 1999)。

综上所述，我们假设，相较于卵泡后期，黄体中期在 PO 任务中的好成绩可能得益于更强的认知控制能力，由此，相较于卵泡后期，黄体中期在完成 PO 任务时，额叶脑区上的 P300 以及 LPC 的波幅应该显著增强。

3　实验 2：对情景记忆 PO 任务的 ERP 研究

3.1　实验方法

3.1.1　被试

根据实验 1 在 PO 任务上的效应量(0.750)，运用 GPower 计算在统计检验力 $1-\beta=0.80$, $\alpha=0.05$ 的条件下，进行配对样本 t 检验合适的样本量为 16 人。通过校园广告招募生理周期稳定的女性被试 30 名，年龄 18~22 岁($M \pm SD$: 20.13 ± 1.04)，所有被试视力或矫正视力正常。采用与实验 1 相同的倒数法确定被试的卵泡后期、黄体中期作为两个测试点，每个被试在这两个阶段分别参加一次实验。剔除只参加一次实验的两名被试，有效被试 28 名(13 名被试先在黄体中期，15 名被试先在卵泡后期参加实验)，年龄为 19~22 岁($M \pm SD$: 20.14 ± 0.93)，其中 16 名被试同意佩戴 EEG 实验设备完成实验任务，12 名被试仅参加相同任务的行为实验，因而数据处理涉及 16 名被试的脑电数据，28 名被试的行为数据。

3.1.2　实验设计

实验任务参照实验 1 的 PO 任务，结合信号检测论计算因变量指标，自变量为生理周期的两个阶段(卵泡后期、黄体中期)，因变量为回忆正确率、感受性以及判定标准。

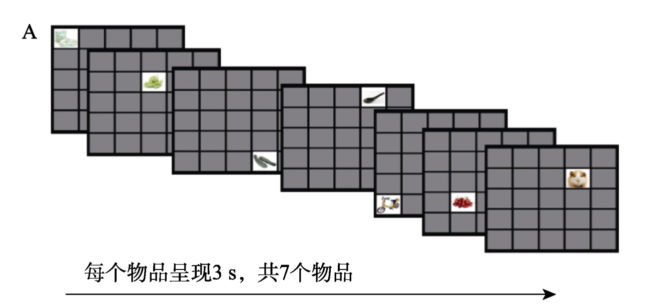
信号检测论的主要指标辨别力(d')和判断标准(β)，可以体现个体参与任务时的感受能力、态度和反应倾向。辨别力即为感受性，体现了个体对信息的编码加工及记忆质量(徐少卿 等, 2014)；判断标准用于衡量心理状态的变化，主要包括动机、态度等(杨治良，钟毅平, 1996)。借鉴信号检测论的研究范式，在本研究中，可以进一步区分黄体中期完成 PO 任务的好成绩，是得益于认知能力(感受性 d')的有效提升，还是个体基于任务，有意识地改变了自己的反应倾向。

3.1.3　实验程序

被试首先填写基本信息问卷及知情同意书，之后(其中 16 名被试佩戴脑电帽)在电脑上完成 PO 任务，共有 8 个 block，每个 block 包含一个学习阶段和一个测验阶段。学习阶段(见图 4A)：7 张物品图片依次呈现在 5 × 5 方格的任意位置，每个呈现 3 s。实验材料的物品图片全部来自实验 1 的学习材料与干扰材料。通过指导语告知被试只需记忆哪些位置呈现了物品，以及这些位置的呈现顺序。呈现完毕后即进入测验阶段。测验阶段，如图 4B 所示，在一个 5 × 5 的方格内两两呈现学习阶段的物品，所呈现位置均为学习阶段呈现过的，仅要求被试判断呈现过物品位置的顺序，即判断左边位置是否较右边位置先呈现过物品，若回答是，按 F 键，若不是按 J 键，无时间限制，被试按键反应后自动进入下一屏，每次判断之间间隔时间 500~800 ms，共完成 7 种位置顺序的判断。之后，进行第二个 block 的学习与测验，以此类推，共完成 8 个 block、56 次位置呈现顺序的判断。卵泡后期、黄体中期两次实验内容及过程相同。

3.1.4　ERP 数据采集

用 64 导脑电记录系统、10~20 倍系统扩展的电极帽、采样率为 1000 Hz、带通滤波为 0.05~30 Hz,



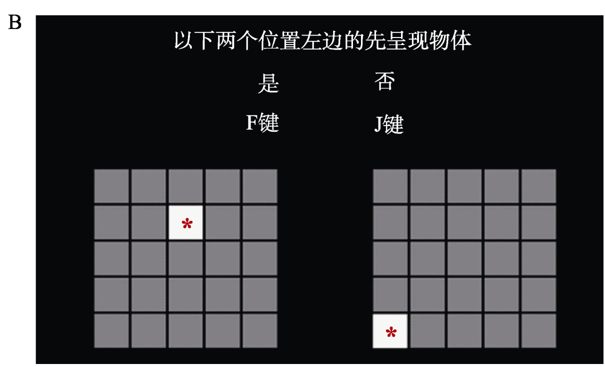


图 4 实验 2 记忆阶段(A)和测验阶段(B)流程示意图

记录大脑皮层活动的 Electroencephalographic (EEG)。接地电极位于 Fpz 和 Fz 连线的中点，有两个电极用于监控眼电，其中，左眼外侧 1 cm 处的一个电极记录水平眼电，右眼眶下侧 1 cm 处有一个电极记录垂直眼电。通过使用脑电膏，保证数据记录过程中，电极与头皮接触良好，保持电阻小于 10 kΩ。

3.1.5 ERPs 数据处理与统计分析

使用 eeglab 离线处理 EEG 数据，分析测验阶段刺激呈现的脑电数据。首先降采样为 250 Hz，以全脑平均作为参考，之后手动剔除坏段后分别进行 0.1 Hz 的低通滤波和 30 Hz 的高通滤波，使用独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)探测矫正眼电及其他原因引起的伪迹。根据伪迹校正的结果，剔除波幅在±75 μV 范围以外的试次。之后选取测验阶段图片刺激呈现后的 1000 ms 作为分析时程，刺激呈现前的 200 ms 作为基线，以潜伏期、振幅峰值作为度量指标。最后，使用 ERPlab 插件，平均所有被试不同条件正确试次的 ERPs 波形图，得到 ERPs 波形图。

根据前人研究，将所有电极分为中线电极：Cz、Pz、CPz; 左侧额叶(left-frontal)：F1、F3、FC3; 右侧额叶(right-frontal)：F2、F4、FC4; 左侧中央(left-central)：C1、C3、CP3; 右侧中央(right-central)：C2、C4、CP4; 左侧顶叶(left-parietal)：P1、P3、PO3; 右侧顶叶(right-parietal)：P2、P4、PO4 九个区域(见图 5) (Ecker et al., 2007; Tanguay et al., 2018)。参照前人相关研究及本实验的假设，主要分

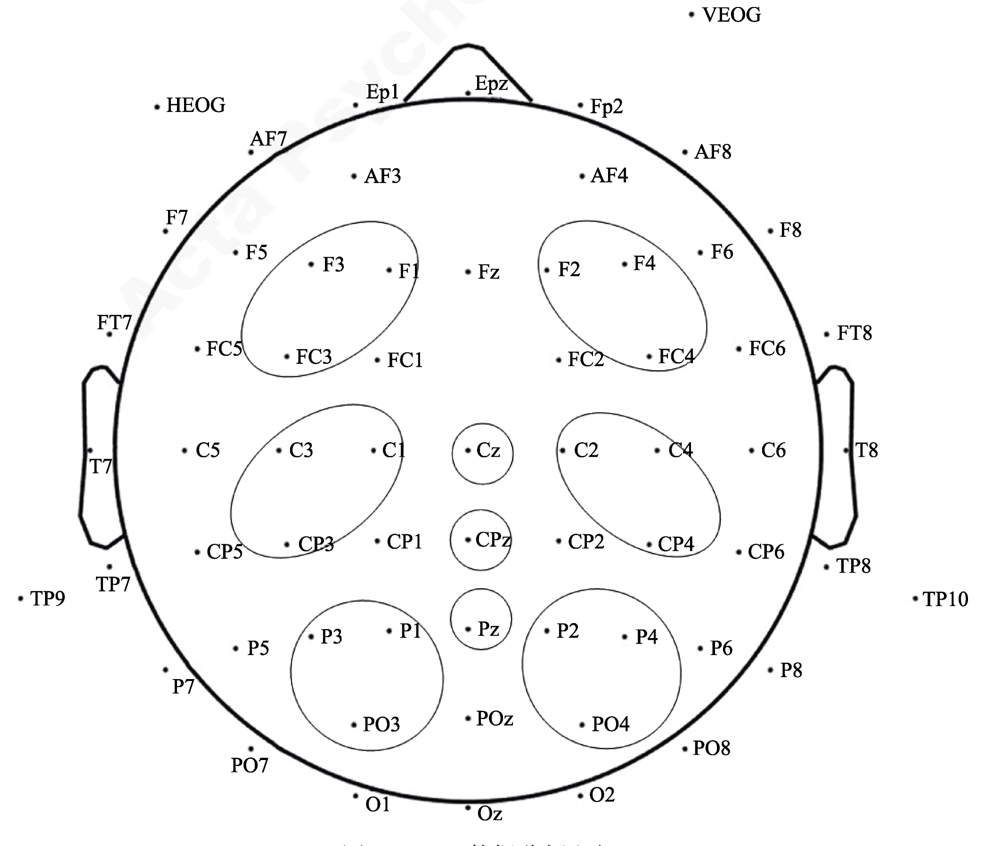


图 5 EEG 数据分析兴趣区

析两个晚期成分 P300 和 LPC 晚期正波，时间窗分别是 260~320 ms、480~670 ms (Bermúdez-Margaretto et al., 2018; Ecker et al., 2007)。对各成分各兴趣区的潜伏期及振幅首先通过配对样本 t 检验比较两生理周期的差异，之后重复测量方差分析检验生理周期及各兴趣区的主效应及可能存在的交互作用。

3.2　结果

3.2.1　行为结果

被试正确判断与记忆阶段完全相同的刺激即为击中，将不同呈现判断为完全相同即为虚惊。根据信号检测论计算感受性(d')与判断标准(β)，其中 d'= Z(击中) − Z(虚报); β = O (击中)/O (虚惊)，记录每位被试的击中率、虚报率，之后进行 POZ 转化(杨治良，钟毅平，1996)，计算出其在两个实验时期的感受性和判断标准。

两时期反应正确率、感受性、判断标准如表 3 所示，分别进行配对样本 t 检验，在正确率上，生理周期两时期差异显著，$t(27) = -2.15$, $p = 0.040 < 0.05$, 95% CI 为[−6.90, −0.16]，效应量 $d_z = 0.528$，表现为黄体中期的正确率显著高于卵泡后期，复制了实验 1 的结果；在感受性上，两时期差异边缘显著，$t(27) = -1.94$, $p = 0.063$, 95% CI 为[−0.78, 0.02]，效应量 $d_z = 0.456$，同样表现为黄体中期感受性更好；在判断标准上，两时期没有显著差异，$t(27) = -0.87$, $p = 0.390$, 95% CI 为[−2.22, 0.93]，效应量 $d_z = 0.264$。

表 3　卵泡后期、黄体中期个体回忆正确率、感受性、判断标准结果(括号内为标准差)

生理周期	正确率(%)	感受性 d'	判断标准 β
卵泡后期	77.80 (11.02)	1.76 (1.11)	1.29 (1.43)
黄体中期	81.34 (10.19)	2.14 (1.12)	1.59 (3.58)

3.2.2　ERP 结果

被试两时期完成 PO 任务测验阶段时，在各 ROI 的平均 ERP (见图 6)以及各脑电成分地形图(见图 7)。

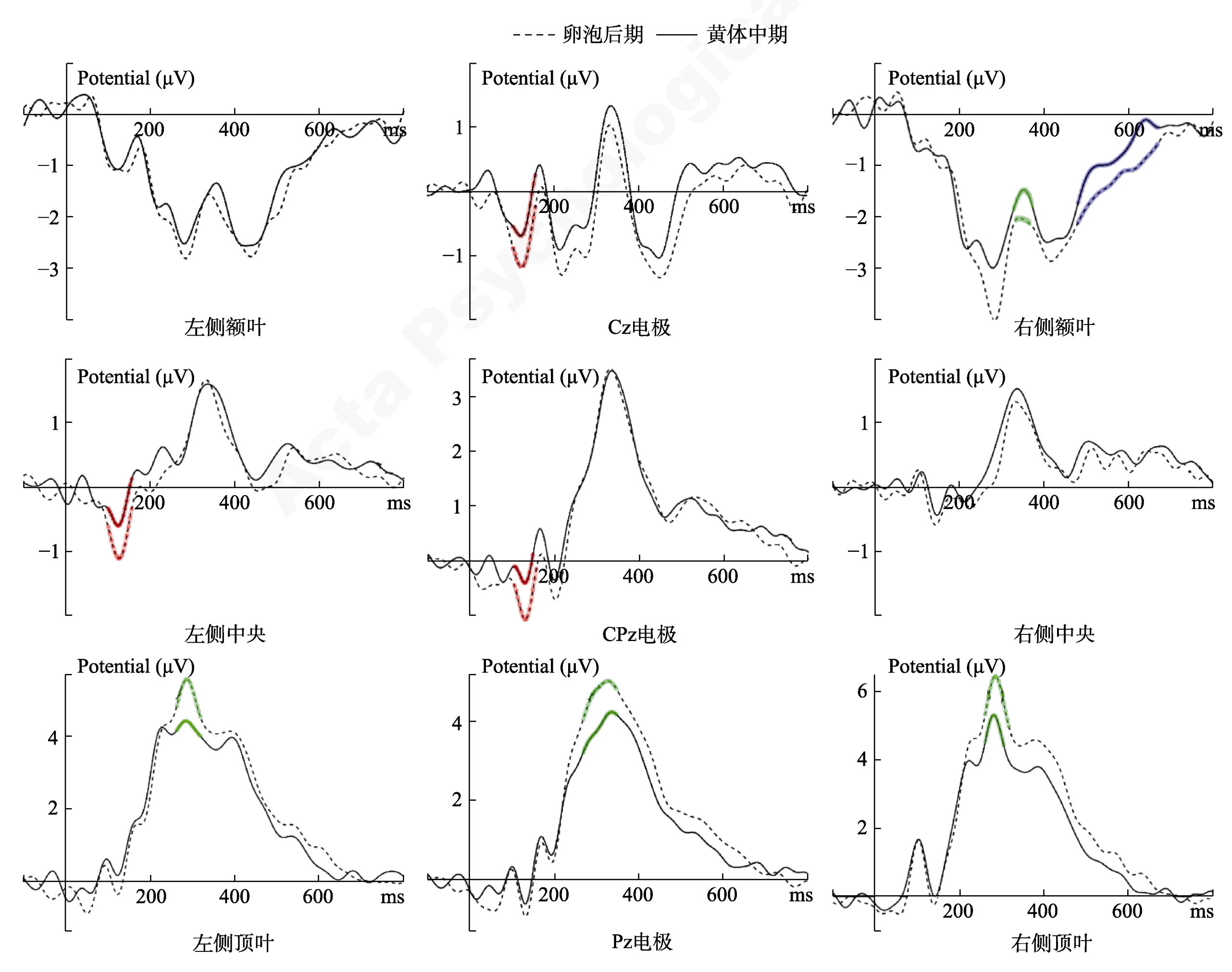


图 6　生理周期两时期总波形图：红色高亮 − N1 成分两时期差异显著、绿色高亮 − P300 成分两时期差异显著、紫色高亮 − LPC 成分两时期差异显著

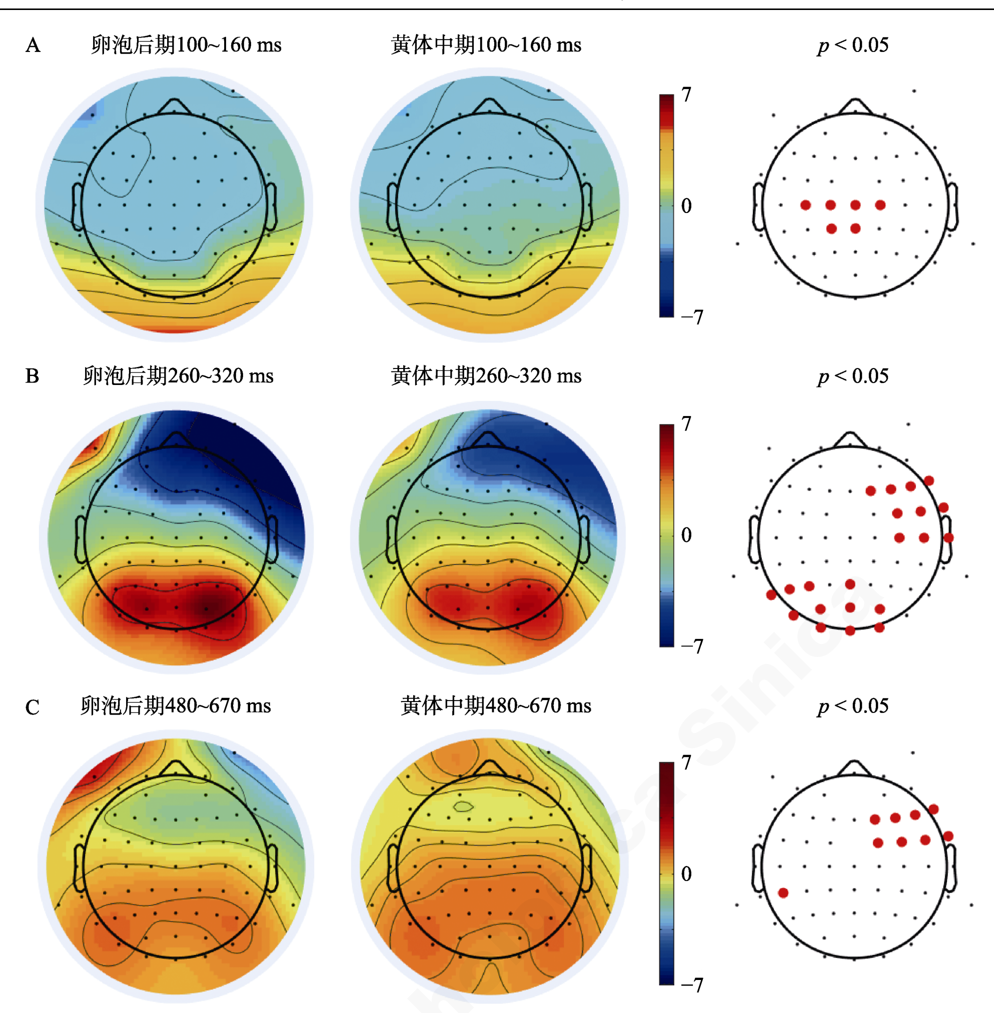


图 7 生理周期两时期脑地形图：A. 早期成分 N1 成分、B. P300 成分、C. 晚期正成分 LPC (右侧红色高亮电极：两时期振幅差异显著)

P300 成分

260~320 ms 间的 P300 成分在各 ROI 均出现，且两时期潜伏期没有显著差异(见图 6)。对振幅进行配对样本 t 检验显示，右侧额叶卵泡后期的 P300 振幅(−3.47 ± 1.72 μV)显著小于黄体中期(−2.68 ± 1.80 μV), $t(15) = 3.06$, $p = 0.008 < 0.01$, 95% CI 为[−1.34, −0.24], 效应量 $d_z = 0.824$; 左侧顶叶卵泡后期的 P300 振幅(5.14 ± 2.70 μV)显著大于黄体中期的 P300 振幅(4.25 ± 2.61 μV), $t(15) = 2.72$, $p = 0.016 < 0.05$, 95% CI 为[0.19, 1.59], 效应量 $d_z = 0.547$; Pz 电极卵泡后期的 P300 振幅(4.53 ± 2.75 μV)显著大于黄体中期的 P300 振幅(3.58 ± 2.43 μV), $t(15) = 2.42$, $p = 0.029 < 0.05$, 95% CI 为[0.11, 1.79], 效应量 $d_z = 0.479$; 右侧顶叶卵泡后期的 P300 振幅(5.83 ± 2.85 μV)显著大于黄体中期的 P300 振幅(4.74 ± 2.83 μV), $t(15) = 2.961$, $p = 0.010 < 0.05$, 95% CI 为[0.30, 1.86], 效应量 $d_z = 0.596$; 2 (生理周期：卵泡后期、黄体中期) × 3 (前中后 ROIs：额叶、中部、顶叶) × 3 (左中右 ROIs：左侧、中间、右侧)重复测量方差分析显示：生理周期和前中后 ROIs 交互作用显著, $F(2, 30) = 11.83$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.441$, 表现为额叶区域黄体中期时振幅更大($M_{黄体中期} - M_{卵泡后期} = 0.52$, $p = 0.048 < 0.05$)，而顶叶区域卵泡后期时振幅更大($M_{黄体中期} - M_{卵泡后期} = -0.97$, $p = 0.008 < 0.01$)。

晚期正成分(LPC)

配对样本 t 检验显示，右侧额叶黄体中期的 LPC 振幅(−0.67 ± 1.00 μV)显著大于卵泡后期 LPC 振幅(−1.14 ± 1.09 μV), $t(15) = 2.59$, $p = 0.020 < 0.05$, 95% CI 为[−0.86, −0.08], 效应量 $d_z = 0.652$; 2 (生理周期：卵泡后期、黄体中期) × 3 (前中后 ROIs：额叶、中部、顶叶) × 3 (左中右 ROIs：左侧、中间、右侧)重复测量方差分析，未发现生理周期的主效应或生理周期与脑区的交互作用。

对其他波形图的观察比较发现，早期 ERP 成分(N1)波出现在左侧中央、Cz 电极、CPz 电极等区

域, 卵泡后期、黄体中期两时期 N1 成分的潜伏期在各 ROIs 均没有显著差异(见图 6)。对振幅进行配对样本 t 检验, 发现左侧中央卵泡后期的 N1 振幅(0.80 ± 0.77 μV)显著大于黄体中期 N1 振幅(0.33 ± 0.77 μV), $t(15) = 3.09$, $p = 0.007 < 0.01$, 95% CI 为[−0.78, −0.15], 效应量 $d_z = 0.746$; Cz 电极卵泡后期的 N1 振幅(0.83 ± 1.49 μV)显著大于黄体中期 N1 振幅(0.36 ± 1.24 μV), $t(15) = 3.13$, $p = 0.007 < 0.01$, 95% CI 为[−0.78, −0.15], 效应量 $d_z = 0.748$; CPz 电极卵泡后期的 N1 振幅(0.67 ± 1.15 μV)显著大于黄体中期 N1 振幅(0.10 ± 0.91 μV), $t(15) = 2.30$, $p = 0.036 < 0.05$, 95% CI 为[−1.10, −0.04], 效应量 $d_z = 0.620$; 2 (生理周期: 卵泡后期、黄体中期)× 3 (前中后 ROIs: 额叶、中部、顶叶) × 3 (左中右 ROIs: 左侧、中间、右侧)重复测量方差分析发现: 仅生理周期主效应边缘显著, $F(1, 15) = 4.39$, $p = 0.054$, $\eta_p^2 = 0.226$, 且表现为卵泡后期振幅(0.42 ± 1.81 μV)大于黄体中期(0.13 ± 1.95 μV)。对其他成分进行分析, 均没有发现生理周期的显著效应。

3.2.3　行为与脑电的相关分析

P300 成分

将被试完成 PO 任务时的正确率、感受性与 ERP 数据(右侧额叶、左侧顶叶、右侧顶叶、Pz 电极的 260~320 ms 平均振幅)进行相关分析, 探究行为反应与神经活动之间的关联。结果显示, 右侧额叶振幅与感受性($r = 0.408$, $p = 0.025 < 0.05$)显著正相关, 如图 8 所示。

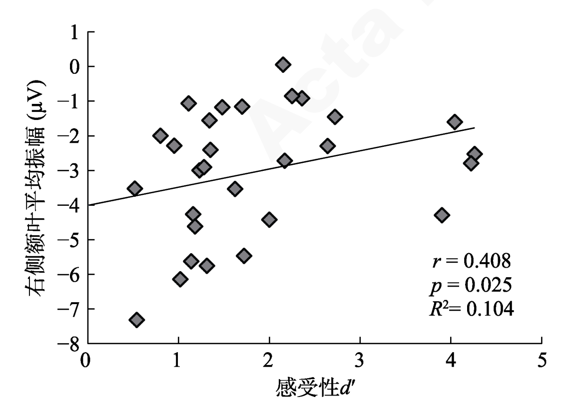


图 8　感受性与右侧额叶 260~320 ms 平均波幅相关

晚期正成分

将被试完成 PO 任务的正确率、感受性与 ERP 数据(右侧额叶 480~670 ms 平均波幅)进行相关及回归分析, 未发现行为结果与神经活动的相关性($p > 0.4$)。

早期成分

将被试完成 PO 任务的正确率、感受性与 ERP 数据(左侧中央、Cz 电极、CPz 电极的 N1 振幅)进行相关分析, 探究行为反应与神经活动之间的关联。结果显示, CPz 电极振幅与正确率($r = -0.409$, $p = 0.025 < 0.05$)、感受性($r = -0.381$, $p = 0.038 < 0.05$)显著负相关。相关及多元回归结果如图 9 所示。

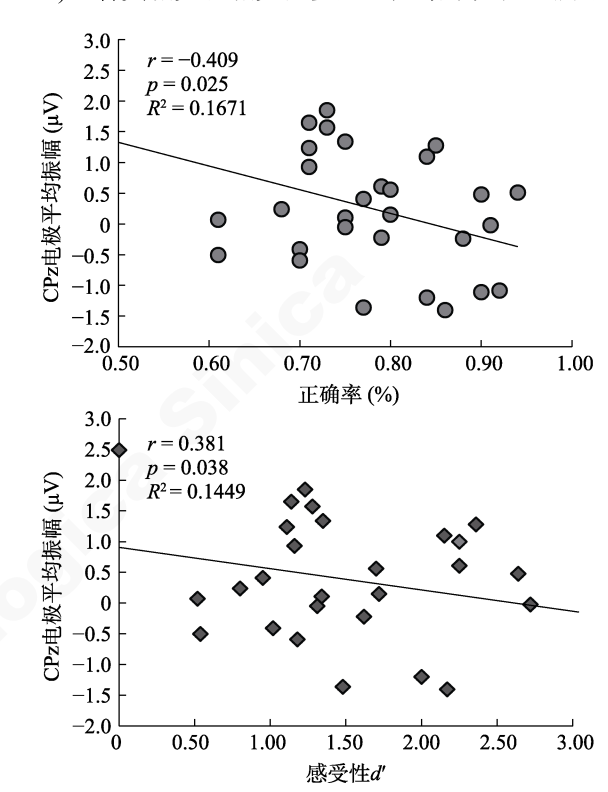


图 9　正确率、感受性与 CPz 电极 100~160 ms 平均波幅相关

3.3　讨论

行为数据显示黄体中期回忆正确率显著高于卵泡后期; 在感受性上, 两时期的差异边缘显著, 表现为黄体中期好于卵泡后期; 而判断标准在两个时期没有显著差异。

ERP 结果显示, 完成情景记忆的 PO 任务时, 表现出 N1 成分、P300 成分、晚期正成分 LPC 在卵泡后期、黄体中期的差异。具体而言, P300 成分出现了脑区和生理周期的交互作用: 额叶区域黄体中期的振幅显著大于卵泡后期, 而顶叶区域黄体中期的振幅显著小于卵泡后期; 对于晚期正成分 LPC, 同样显示右侧额叶黄体中期的振幅显著大于卵泡后期。根据前述研究, 额叶尤其是右侧额叶的 P300 以及 LPC 振幅, 与认知控制的参与度高度相关(Fabiani & Friedman, 1995; Küper & Zimmer, 2018;

Leynes & Crawford, 2018; Wilding, 1999; Fjell & Walhovd, 2001)。可以认为，黄体中期完成 PO 任务时，有更多认知控制的参与。这与前述核磁共振研究结论相一致(Zhuang et al., 2020)，即无论静息态还是任务态的 fMRI 结果均表明，黄体中期具有更强的认知控制能力。相关分析的结果发现，感受性与右侧额叶的 P300 振幅显著正相关。上述这些结果为我们的假设提供了证据，即黄体中期完成 PO 任务时记忆成绩的提升得益于认知控制能力的增强；同时，排除了被试对记忆任务的态度、动机等因素的影响。这一结果首次在情景记忆领域重复了前述关于黄体中期有更强认知控制的研究结论(Zhuang et al., 2020)。

另一方面，卵泡后期的 N1 振幅显著大于黄体中期。由于 N1 成分的波幅与选择性注意程度正相关，注意分配越多，波幅越大，该成分可以表示注意对特定对象的集中，体现了外部刺激对注意资源的攫取(Jha, 2002; 罗跃嘉, Parasuraman, 2001)，即完成 PO 任务时卵泡后期集中了更多的注意资源在记忆对象上。同样的，相较于黄体中期，顶叶 P300 在卵泡后期波幅更大，进一步展现了卵泡后期更多注意资源的自动投入(Kida et al., 2012)。相关分析的结果表明, N1 成分在 CPz 电极振幅与正确率、感受性显著负相关，提示我们，卵泡后期在外部刺激上过多注意资源的投入，可能降低了个体在完成 PO 任务时的认知控制，由此导致成绩下降。

总之，上述结果表明，在完成 PO 任务时，黄体中期会有更强的认知控制参与任务，提升了记忆表现；而卵泡后期会集中较多的注意资源在外部刺激上，这或许也是影响记忆成绩的一个原因。

4 总讨论

实验 1 的结果发现，生理周期影响情景记忆中对空间位置及位置顺序(PO)信息的整合，实验 2 借助 ERP 技术探究其中的原因，发现相较于卵泡后期，黄体中期在完成 PO 任务时，在额叶观察到更大的 P300 及 LPC 波幅，这些结果表明，黄体中期在情景记忆的 PO 任务中的好成绩得益于认知控制能力的增强。而相较于黄体中期，卵泡后期在完成 PO 任务时，会观察到更大的 N1 波幅及顶叶 P300 波幅，表明此时期在完成 PO 任务时注意资源对外部刺激的自动投入。这一结果提示，生理周期对情景记忆的影响，与前述对繁殖、求偶行为的影响，可能使用了相同的底层支持规则。未来研究，可以进一步借助脑电等技术以及对激素等生化指标的精准测定，同时测量两类任务，探讨由生理周期所引发的激素变化如何影响与改变大脑的结构与功能，以进一步识别并确定这些底层规则。

本研究的意义在于，脱离繁殖、求偶的情景，探讨女性生理周期对一般认知能力(情景记忆)的影响，结果发现，这种影响仍然是存在的。即用于繁殖、求偶目的的激素所形成的认知能力，可能也会广泛影响其他社会情景或任务中的行为。例如，有研究用视觉线索任务探究孕酮水平与对社会刺激敏感性之间的关系，发现高孕酮水平会提升个体对社会刺激的普遍敏感性，与社会刺激传达的特定意图无关(Maner & Miller, 2014)。这与本研究显示的个体黄体中期感受性更好，与完成任务的动机、态度无关相一致。未来研究可以进一步探讨生理周期对多巴胺通路结构与功能塑造的特点及其与具体社会及认知任务之间的关系。

其次，利用生理周期研究性激素水平的变化对情景记忆的影响，比单纯只关注单一激素水平变化的研究更具有生态效度，毕竟无论随年龄而变化的性激素水平，还是随生理周期而变化的性激素水平，都是多种激素水平的协同变化。有研究发现，女性黄体中期跨期决策任务中的折扣率与雌激素水平在孕酮激素水平中所占比重显著正相关(Zhuang et al., 2020)。未来研究可以测量两时期激素水平，确定具体激素水平或相对激素水平与情景记忆成绩之间的关系，期望为理解情景记忆或其他社会行为提供多激素水平协同活动的视角。

再次，在应用上，该研究结果可以对由于激素衰退导致的记忆能力减退提供干预借鉴，同时为理解记忆异常，如老年痴呆症等提供借鉴。具体而言，前人研究发现，雌激素参与阿尔茨海默症(Alzheimer's disease, AD)、帕金森症(Parkinson's disease, PD)等中枢神经系统疾病的生理病理过程，并调节与多巴胺通路相关的认知过程(Arevalo et al., 2014; Li et al., 2014; Tuscher et al., 2016)。我们的研究结果提示，在干预过程中，可以同时考虑多种激素的协同作用。

本研究尚存在一些局限性：首先，由于缺少一个基线水平，尚不能确定黄体中期显著增强的认知控制能力是该时期绝对认知控制能力的提升，还是由于卵泡后期其他认知过程对认知控制能力的削弱导致的。未来研究可以增加一个对照组开展研究。其次，由于对两个时期的激素水平没有进行测

试, 尚不能确定黄体中期完成 PO 任务的好成绩是由于哪一种激素的绝对水平或者相对水平导致的, 未来研究可以在测定激素水平的基础上进一步开展。

5　结语

利用"What-Where-When Task"探究生理周期对情景记忆的影响, 得到以下主要结论:

(1)生理周期对情景记忆中客体的空间位置与时间顺序整合的记忆产生显著影响, 表现为黄体中期的记忆效果显著好于卵泡后期。

(2)黄体中期在情景记忆信息整合能力上的好成绩, 与额叶脑区的 P300 和 LPC 波的振幅增强有关, 可能得益于认知控制能力的增强。

参　考　文　献

Ackerman, J. M., Becker, D. V., Mortensen, C. R., Sasaki, T., Neuberg, S. L., & Kenrick, D. T. (2009). A pox on the mind: Disjunction of attention and memory in the processing of physical disfigurement. *Journal of Experimental Social Psychology, 45*(3), 478−485.

Addante, R. J., Ranganath, C., Olichney, J., & Yonelinas, A. P. (2012). Neurophysiological evidence for a recollection impairment in amnesia patients that leaves familiarity intact. *Neuropsychologia, 50*(13), 3004−3014.

Allan, K., Jones, B. C., DeBruine, L. M., & Smith, D. S. (2012). Evidence of adaptation for mate choice within women's memory. *Evolution and Human Behavior, 33*(3), 193−199.

An, X. F. (2018). *An experimental study on the effect of menstrual cycle on intertemporal choice and interpersonal choice* (Unpublished master's thesis). Easter China Normal University, Shanghai.

[安小芬. (2018). *生理周期影响跨期决策和跨人际决策的实验研究* (硕士学位论文). 华东师范大学, 上海.]

Anderson, U. S., Perea, E. F., Becker, D. V., Ackerman, J. M., Shapiro, J. R., Neuberg, S. L., & Kenrick, D. T. (2010). I only have eyes for you: Ovulation redirects attention (but not memory) to attractive men. *Journal of Experimental Social Psychology, 46*(5), 804−808.

Arevalo, M. A., Azcoitia, I., & Garcia-Segura, L. M. (2014). The neuroprotective actions of oestradiol and oestrogen receptors. *Nature Reviews Neuroscience, 16*(1), 17−29.

Ball, A., Wolf, C. C., Ocklenburg, S., Herrmann, B. L., Pinnow, M., Brüne, M., ... Güntürkün, O. (2013). Variability in ratings of trustworthiness across the menstrual cycle. *Biological Psychology, 93*(1), 52−57.

Barrett, H. C., & Kurzban, R. (2006). Modularity in Cognition: Framing the Debate. *Psychological Review, 113*(3), 628−647.

Bermúdez-Margaretto, B., Beltrán, D., Cuetos, F., & Domínguez, A. (2018). Brain signatures of new (pseudo-) words: Visual repetition in associative and non-associative contexts. *Frontiers in Human Neuroscience, 12*, 354.

Blake, K. R., Dixson, B. J. W., O'Dean, S. M., & Denson, T. F. (2016). Standardized protocols for characterizing women's fertility: A data-driven approach. *Hormones and Behavior, 81*, 74−83.

Botvinick, M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature, 402*(6758), 179−181.

Brezis, N., Bronfman, Z. Z., Yovel, G., & Goshen-Gottstein, Y. (2017). The electrophysiological signature of remember−know is confounded with memory strength and cannot be interpreted as evidence for dual-process theory of recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience, 29*(2), 322−336.

Chalfonte, B. L., & Johnson, M. K. (1996). Feature memory and binding in young and older adults. *Memory & Cognition, 24*(4), 403−416.

Cieslik, E. C., Zilles, K., Caspers, S., Roski, C., Kellermann, T. S., Jakobs, O., ... Eickhoff, S. B. (2013). Is there "one" DLPFC in cognitive action control? Evidence for heterogeneity from co-activation-based parcellation. *Cerebral Cortex, 23*(11), 2677−2689.

Coronel, J. C., & Federmeier, K. D. (2016). The N400 reveals how personal semantics is processed: Insights into the nature and organization of self-knowledge. *Neuropsychologia, 84*, 36−43.

Crawley, R., Grant, S., & Hinshaw, K. (2008). Cognitive changes in pregnancy: Mild decline or societal stereotype? *Applied Cognitive Psychology, 22*(8), 1142−1162.

Curran, T., & Cleary, A. M. (2003). Using ERPs to dissociate recollection from familiarity in picture recognition. *Cognitive Brain Research, 15*(2), 191−205.

Daffner, K. R., Chong, H., Sun, X., Tarbi, E. C., Riis, J. L., McGinnis, S. M., & Holcomb, P. J. (2011). Mechanisms underlying age- and performance-related differences in working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(6), 1298−1314.

Dere, E., Kart-Teke, E., Huston, J. P., & de Souza Silva, M. (2006). The case for episodic memory in animals. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 30*(8), 1206−1224.

DuBrow, S., & Davachi, L. (2016). Temporal binding within and across events. *Neurobiology of Learning and Memory, 134*, 107−114.

Ecker, U. K. H., Zimmer, H. D., & Groh-Bordin, C. (2007). Color and context: An ERP study on intrinsic and extrinsic feature binding in episodic memory. *Memory & Cognition, 35*(6), 1483−1501.

Ertman, N., Andreano, J. M., & Cahill, L. (2011). Progesterone at encoding predicts subsequent emotional memory. *Learning & Memory, 18*(12), 759−763.

Fabiani, M., & Friedman, D. (1995). Changes in brain activity patterns in aging: The novelty oddball. *Psychophysiology, 32*(6), 579−594.

Fales, M. R., Gildersleeve, K. A., & Haselton, M. G. (2014). Exposure to perceived male rivals raises men's testosterone on fertile relative to nonfertile days of their partner's ovulatory cycle. *Hormones and Behavior, 65*(5), 454−460.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods, 39*(2), 175−191.

Ferree, N. K., Kamat, R., & Cahill, L. (2011). Influences of menstrual cycle position and sex hormone levels on spontaneous intrusive recollections following emotional stimuli. *Consciousness and Cognition, 20*(4), 1154−1162.

Fjell, A. M., & Walhovd, K. B. (2001). P300 and neuropsychological tests as measures of aging: Scalp topography and cognitive changes. *Brain Topogr, 14*(1), 25−40.

Folstein, J. R., & van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology, 45*(1), 152−170.

Guéguen, N. (2012). Gait and menstrual cycle: Ovulating women use sexier gaits and walk slowly ahead of men. *Gait & Posture, 35*(4), 621−624.

Hoppstädter, M., Baeuchl, C., Diener, C., Flor, H., & Meyer, P. (2015). Simultaneous EEG−fMRI reveals brain networks underlying recognition memory ERP old/new effects. *NeuroImage, 116*, 112−122.

Howe, A. S., Bani-Fatemi, A., & de Luca, V. (2014). The clinical utility of the auditory P300 latency subcomponent event-related potential in preclinical diagnosis of patients with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Brain and Cognition, 86*(1), 64−74.

Ikarashi, K., Sato, D., Iguchi, K., Baba, Y., & Yamashiro, K. (2020). Menstrual cycle modulates motor learning and memory consolidation in humans. *Brain Sciences*, 10(10), 696.

Jenkins, L. J., & Ranganath, C. (2010). Prefrontal and medial temporal lobe activity at encoding predicts temporal context memory. *Journal of Neuroscience, 30*(46), 15558−15565.

Jha, A. P. (2002). Tracking the time-course of attentional involvement in spatial working memory: An event-related potential investigation. *Cognitive Brain Research, 15*(1), 61−69.

Kessels, R. P. C., Postma, A., & de Haan, E. H. F. (1999). Object relocation: A program for setting up, running, and analyzing experiments on memory for object locations. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 31*(3), 423−428.

Kida, T., Kaneda, T., & Nishihira, Y. (2012). Dual-task repetition alters event-related brain potentials and task performance. *Clinical Neurophysiology, 123*(6), 1123− 1130.

Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology, 38*(3), 557−577.

Kumar, S., Soto, D., & Humphreys, G. W. (2009). Electrophysiological evidence for attentional guidance by the contents of working memory. *European Journal of Neuroscience, 30*(2), 307−317.

Küper, K., & Zimmer, H. D. (2018). The impact of perceptual changes to studied items on ERP correlates of familiarity and recollection is subject to hemispheric asymmetries. *Brain and Cognition, 122*, 17−25.

Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology, 62*(1), 621−647.

Leynes, P. A., & Crawford, C. J. (2018). Event-related potential (ERP) evidence that encoding focus alters recollected features. *Brain and Cognition, 127*, 42−50.

Leynes, P. A., & Mok, B. A. (2017). Encoding focus alters diagnostic recollection and event-related potentials (ERPs). *Brain and Cognition, 117*, 1−11.

Li, R., Cui, J., & Shen, Y. (2014). Brain sex matters: Estrogen in cognition and Alzheimer's disease. *Molecular and Cellular Endocrinology, 389*(1−2), 13−21.

Liu, Z., & Guo, C. (2020). Unitization could facilitate item recognition but inhibit verbatim recognition for picture stimuli: Behavioral and event-related potential study. *Psychological Research*, *85*(8), 2935−2953.

Luo, Y. J., & Parasuraman, R. (2001). The early ERP effects reflect neural activity in spatialscale of visual attention. *Acta Psychologica Sinica*, *33*(5), 385−389.

[罗跃嘉, Parasuraman, R. (2001). 早期 ERP 效应与视觉注意空间等级的脑调节机制. *心理学报, 33*(5), 385−389.]

Maner, J. K., & Miller, S. L. (2014). Hormones and social monitoring: Menstrual cycle shifts in progesterone underlie women's sensitivity to social information. *Evolution and Human Behavior, 35*(1), 9−16.

Miller, G., Tybur, J. M., & Jordan, B. D. (2007). Ovulatory cycle effects on tip earnings by lap dancers: Economic evidence for human estrus?. *Evolution and Human Behavior, 28*(6), 375−381.

Moser, J. S., Krompinger, J. W., Dietz, J., & Simons, R. F. (2009). Electrophysiological correlates of decreasing and increasing emotional responses to unpleasant pictures. *Psychophysiology, 46*(1), 17−27.

Näätänen, R., & Picton, T. (1986). N2 and automatic versus controlled processes. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology, 38*(*Suppl.*), 169−186.

Nardini, C. L., & Leynes, P. A. (2020). Encoding focus does not affect recollection of action memories: Event related potential (ERP) and modeling evidence. *International Journal of Psychophysiology, 147*, 9−17.

Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology, 118*(10), 2128−2148.

Reynolds, T. A., Makhanova, A., Marcinkowska, U. M., Jasienska, G., McNulty, J. K., Eckel, L. A., ... Maner, J. K. (2018). Progesterone and women's anxiety across the menstrual cycle. *Hormones and Behavior, 102*, 34−40.

Rotge, J. Y., Guehl, D., Dilharreguy, B., Cuny, E., Tignol, J., Bioulac, B., ... Aouizerate, B. (2008). Provocation of obsessive-compulsive symptoms: A quantitative voxel-based meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Journal of Psychiatry & Neuroscience, 33*(5), 405−412.

Sheline, Y. I., Price, J. L., Yan, Z., & Mintun, M. A. (2010). Resting-state functional MRI in depression unmasks increased connectivity between networks via the dorsal nexus. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 107*(24), 11020−11025.

Stenstrom, E. P., Saad, G., & Hingston, S. T. (2018). Menstrual cycle effects on prosocial orientation, gift giving, and charitable giving. *Journal of Business Research, 84*, 82−88.

Sun, X. L., Liu, Y. F., Sun, T. L., & Zhao, Y. (2013). Research situation of the women's menstrual cycle performance and impact factors. *China Medical Herald*, 10(18), 33−35+38.

[孙晓丽, 刘雁峰, 孙天琳, 赵燕. (2013). 女性月经周期相关表现及影响因素的研究概况. *中国医药导报*, *10*(18), 33−35+38.]

Tanguay, A. N., Benton, L., Romio, L., Sievers, C., Davidson, P. S. R., & Renoult, L. (2018). The ERP correlates of self-knowledge: Are assessments of one's past, present, and future traits closer to semantic or episodic memory? *Neuropsychologia, 110*, 65−83.

Tulving, E. (2002). Episodic memory: From mind to brain. *Annual Review of Psychology, 53*(1), 1−25.

Tuscher, J. J., Szinte, J. S., Starrett, J. R., Krentzel, A. A., Fortress, A. M., Remage-Healey, L., & Frick, K. M. (2016). Inhibition of local estrogen synthesis in the hippocampus impairs hippocampal memory consolidation in ovariectomized female mice. *Hormones and Behavior, 83*, 60−67.

Twomey, D. M., Murphy, P. R., Kelly, S. P., & O'Connell, R. G. (2015). The classic P300 encodes a build - to - threshold decision variable. *European Journal of Neuroscience, 42*(1), 1636−1643.

van Den Heuvel, O. A., Veltman, D. J., Groenewegen, H. J., Cath, D. C., van Balkom, A. J., van Hartskamp, J., ... van Dyck, R. (2005). Frontal-striatal dysfunction during

planning in obsessive-compulsive disorder. *Archives of General Psychiatry, 62*(3), 301−309.
Watkins, L. H., Rogers, R. D., Lawrence, A. D., Sahakian, B. J., Rosser, A. E., & Robbins, T. W. (2000). Impaired planning but intact decision making in early Huntington's disease: Implications for specific fronto-striatal pathology. *Neuropsychologia, 38*(8), 1112−1125.
Wetherill, R. R., Jagannathan, K., Hager, N., Maron, M., & Franklin, T. R. (2016). Influence of menstrual cycle phase on resting-state functional connectivity in naturally cycling, cigarette-dependent women. *Biology of Sex Differences, 7*(1), 1−9.
Wilcox, A. J., Dunson, D., & Baird, D. D. (2000). The timing of the "fertile window" in the menstrual cycle: Day specific estimates from a prospective study. *British Medical Journal, 321*(7271), 1259−1262.
Wilding, E. L. (1999). Separating retrieval strategies from retrieval success: An event-related potential study of source memory. *Neuropsychologia, 37*(4), 441−454.
Williams-Gray, C. H., Hampshire, A., Robbins, T. W., Owen, A. M., & Barker, R. A. (2007). Catechol O-methyltransferase Val^{158}Met genotype influences frontoparietal activity during planning in patients with Parkinson's disease. *Journal of Neuroscience, 27*(18), 4832−4838.
Woodruff, C. C., Hayama, H. R., & Rugg, M. D. (2006). Electrophysiological dissociation of the neural correlates of recollection and familiarity. *Brain Research, 1100*(1), 125−135.
Xu, S. Q., Li, B., Ma, C. Y., & He, L. M. (2014). The influence of 8-week mindfulness training on unconscious emotion processing. *Chinese Journal of Clinical Psychology*, *22*(4), 583−588.
[徐少卿, 李波, 马长燕, 贺兰淼. (2014). 八周正念训练对无意识情绪加工的影响. *中国临床心理学杂志, 22*(4), 583−588.]
Yamaguchi, S., & Knight, R. T. (1991). Age effects on the P300 to novel somatosensory stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 78*(4), 297−301.
Yamazaki, M., & Tamura, K. (2017). The menstrual cycle affects recognition of emotional expressions: An event-related potential study. *F1000 Research*, *6*, 853.
Yang, Z. L., & Zhong, Y. P. (1996). A review of three new methods of modern experimental psychology. *Journal of Psychological Science,* (1), 44−48.
[杨治良, 钟毅平. (1996). 现代实验心理学三种新方法评述. *心理科学,* (1), 44−48.]
Yuan, K., Yu, D., Cai, C., Feng, D., Li, Y., Bi, Y., ... Tian, J. (2016). Frontostriatal circuits, resting state functional connectivity and cognitive control in internet gaming disorder. *Addiction Biology, 22*(3), 813−822.
Zhuang, J. Y., & Wang, J. X. (2015). The relationship between menstrual cycles and women's ornamental behavior. *Advances in Psychological Science*, *23*(5), 729−736.
[庄锦英, 王佳玺. (2015). 女性生理周期与修饰行为的关系. *心理科学进展, 23*(5), 729−736.]
Zhuang, J. Y., Wang, J. X., Lei, Q., Zhang, W., & Fan, M. (2020). Neural basis of increased cognitive control of impulsivity during the mid-luteal phase relative to the late follicular phase of the menstrual cycle. *Frontiers in Human Neuroscience, 14*, 568399.

An effect of menstrual cycle phase on episodic memory

LI Jianhua[1,3], XIE Jiajia[2,3], ZHUANG Jin-Ying[3]

([1] *Department of Psychology; Center for Cognitive and Brain Sciences, University of Macau, Macau* 999078, *China*)
([2] *Department of Marxism, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao,* 266061, *China*)
([3] *Shanghai Key Laboratory of Mental Health and Psychological Crisis Intervention, School of Psychology and Cognitive Science, East China Normal University, Shanghai* 200062, *China*)

Abstract

Episodic memory refers to the recollection of personally experienced events in a specific context. Evolutionary psychology findings have suggested that female sex hormones may be important influencing factors for episodic memory, but the specific mechanism underlying these influences are unclear. The aim of the present study was to examine whether periodic fluctuations of estrogen and progesterone over the menstrual cycle may influence episodic memory in the What-Where-When Task.

Healthy women with stable menstrual cycles and not taking exogenous hormones were recruited for two experiments. In Experiment 1, episodic memory was tested with 33 women during the late follicular phase (FP) and during the mid-luteal phase (LP) with the following five tasks employing images of objects as stimuli: object-only, position-only, object-position binding, object-order binding, and position-order binding. The testing order was counter-balanced across subjects. After a learning phase, participants were asked to recollect elements according to the requirements of each task, and the accuracy rates of their recollections were recorded as dependent variables.

The results of Experiment 1 showed that recollection accuracy differed between the late FP and mid-LP

for only one of the tasks, namely the position-order binding task. Thus, in Experiment 2, event-related potentials (ERPs) were recorded during the performance of the position-order binding task, while recollection accuracy performance was evaluated. For the position-order binding task in both experiments, a significantly higher response accuracy rate was observed in the mid-LP than in the late FP. Regarding the ERP results, amplitudes of the P300 component and the late positive component (LPC) in frontal cortices, which has associated with cognitive control, were found to be higher in the mid-LP than in the late FP. The present results support the notion that people may have greater cognitive control of episodic memory in the mid-LP than in the late FP.

In conclusion, the present results showed that menstrual cycle phase affects position-order binding memory performance and concomitant neural activities. Better episodic memory performance during the mid-LP, relative to the late FP, could be attributed to better cognitive control ability. This study provides new information on physiological factors that can affect episodic memory.

Key words episodic memory, menstrual cycle, cognitive control, P300, LPC, event-related potential